



19 **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 101 34 940 A 1**

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 05 B 17/00**  
G 05 B 13/04

21 Aktenzeichen: 101 34 940.8  
22 Anmeldetag: 23. 7. 2001  
43 Offenlegungstag: 27. 2. 2003

DE 101 34 940 A 1

71 Anmelder:  
KUKA Schweissanlagen GmbH, 86165 Augsburg,  
DE  
74 Vertreter:  
Ernicke & Ernicke, 86153 Augsburg

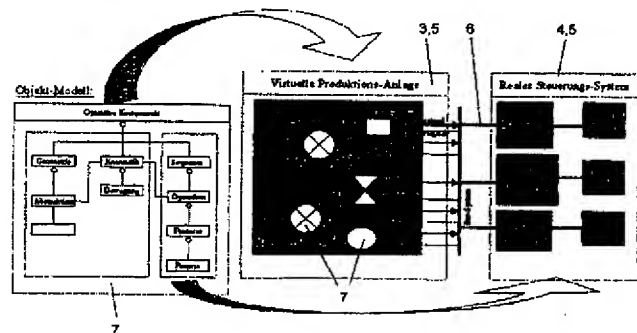
72 Erfinder:  
Neukäufer, Martin, 86447 Aindling, DE  
56 Entgegenhaltungen:  
DE 198 32 974 A1  
SCHULER, Hans: Prozeßführung. München [u.a.]:  
Oldenbourg, 1999, S. 95-113. ISDN: 3-486-23477-3;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Entwicklungssystem und Entwicklungsverfahren für ein reales Steuerungssystem

57 Die Erfindung betrifft ein Entwicklungsverfahren und ein Entwicklungssystem für ein reales Steuerungssystem (4), das zur Steuerung einer realen Produktions- oder Bearbeitungslage (2) mit ein oder mehreren steuerbaren Anlagenobjekten (8, 9, 10, 11) dient. Das Steuerungssystem (4) wird mittels einer rechnergestützten virtuellen Anlage (3) entwickelt, die mit dem Steuerungssystem (4) über ein Bussystem (6) verbunden ist, wobei die virtuelle Anlage (3) ein oder mehrere Objektmodule (7) beinhaltet, welche die reale Anlage (2) mit ihren Anlagenobjekten (8, 9, 10, 11) und deren Steuerverhalten simulieren. Die reale Anlage (2) und das Steuerungssystem (4) werden parallel entwickelt, wobei die virtuelle Anlage (3) den Entwicklungsstand der realen Anlage (2) repräsentiert und entsprechend des Entwicklungsfortschritts verändert wird.



DE 101 34 940 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Entwicklungssystem und ein Entwicklungsverfahren für ein reales Steuerungssystem mit den Merkmalen im Oberbegriff des Hauptanspruchs.

[0002] Aus der DE-A 199 00 884 ist ein System und ein Verfahren zum Bedienen und Beobachten eines Automatisierungssystems mit Prozessvisualisierung und Prozesssteuerung durch virtuelle Anlagenmodelle als Abbild einer realen Anlage bekannt. Hierbei wird von einer bereits fertigen realen Anlage und einem bereits vorhandenen realen Steuerungssystem ausgegangen. Das vorbekannte System dient zur Visualisierung der innerhalb der realen Anlage ablaufenden und für das menschliche Auge unsichtbaren Prozesse sowie des Anlagenverhaltens.

[0003] In der Praxis werden bei Projekten im Anlagenbau für Produktionsanlagen von Automobilherstellern oder in anderen technischen Bereichen die mechanischen und kinematischen Anlagenobjekte, z. B., Roboter, Spanneinrichtungen, Förderer oder dergleichen, getrennt von der Steuerung und der Elektrik entwickelt. Mit der Steuerungsentwicklung wird erst nach Fertigstellung der mechanischen und kinematischen Anlagenobjekte oder zumindest erst in einem sehr späten Entwicklungsstadium begonnen. Dieser zeitliche Versatz und die Tatsache, dass die Anlagenobjekte in ihrer Gestalt und Funktionalität nicht dokumentiert sind, verlängert erheblich den Entwicklungs- und Herstellungszeitraum bis zur Fertigstellung der kompletten realen Anlage inklusive ihrer Steuerung.

[0004] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung die Entwicklung eines realen Steuerungssystems zu verbessern.

[0005] Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Merkmalen im Verfahrens- und Sachanspruch.

[0006] Das Entwicklungssystem und das Entwicklungsverfahren haben den Vorteil, dass die Entwicklung der realen automatisierten Anlage und ihres realen Steuerungssystems wesentlich schneller, einfacher und besser vonstatten geht als beim Stand der Technik. Der bis zur Fertigstellung der kompletten Anlage benötigte Zeitraum lässt sich wesentlich verkürzen, wobei außerdem die Entwicklungssicherheit gesteigert wird. Ein besonderer Vorteil der Erfindung liegt in der erheblichen Steigerung der Qualität der mechanischen Konstruktion der automatisierten realen Anlage und ihrer Steuerung. Die Funktionen und Abläufe in der realen Anlage können optimiert werden.

[0007] Durch die rechnergestützte virtuelle Anlage, die mit ihren digitalen Objektmodellen die Anlagenobjekte der realen Anlage gegenüberstellt macht und in ihrem Steuerungsverhalten simuliert, kann die Simulationentwicklung der Abläufe und Prozesse und des Steuerungssystems ohne direkten Zugriff auf die reale Anlage erfolgen. Außerdem ist es möglich, die reale Anlage und das Steuerungssystem parallel und vorzugsweise sogar im wesentlichen zeitgleich zu entwickeln. Die virtuelle Anlage und das Steuerungssystem bilden zusammen ein Simulationssystem, mit dem die reale Anlage und die Programmierung ihrer Steuerung nicht nur entwickelt, sondern auch experimentell ermittelt, getestet und optimiert werden können. Am Ende kann das reale Steuerungssystem direkt auf die reale Anlage aufgeschaltet werden und ist dann nach einem Sicherheitstest voll einsatzfähig.

[0008] Dabei ist es günstig, wenn die virtuelle Anlage mit der realen Steuerung über das gleiche Bussystem wie die reale Anlage verbunden wird. Zur Inbetriebnahme der realen Anlage braucht dann nur der Bus umgesteckt zu werden. Von besonderem Vorteil ist hierbei die Verwendung eines Fast-Ethernet-Bussystems mit einem TCP/IP-Protokoll, welches sich nicht nur optimal zur Visualisierung von Daten

und Zuständen, sondern mit entsprechender Software auch zur Übermittlung von Steuerbefehlen in Echtzeit eignet.

[0009] Für eine Parallelentwicklung der realen Anlage und des realen Steuerungssystems wird die virtuelle Anlage mit ihren Objektmodellen entsprechend der Anordnung und Konfiguration der realen Anlagenobjekte ausgestattet und programmiert, so dass die virtuelle Anlage möglichst zeitgleich den Entwicklungsfortschritt und Entwicklungsstand der realen Anlage repräsentiert. Die Entwickler der realen Anlage und ihrer mechanischen Komponenten können die virtuelle Anlage auch für ihre eigenen Entwicklungszwecke nutzen. Hierbei können vor den Aufbau der realen Anlagenkomponenten die virtuellen Anlagenobjekte bereits auf ihre Funktion, das Taktzeitverhalten, die gegenseitigen Beeinflussungen, Störgrenzenprobleme und dergleichen untersucht, experimentell bestimmt, optimiert und getestet werden. Die Erfindung ermöglicht es, die reale Anlage mit ihren mechanischen Komponenten erst dann zu bauen, wenn sie zuvor in der virtuellen Anlagen entwickelt und konzipiert wurde.

[0010] Die virtuelle Anlage ist dabei vorzugsweise im Bereich der realen Anlage angeordnet, so dass die Entwicklungen bzw. Änderungen der realen und virtuellen Anlage auf kurzem Wege und zeitnah geschehen können. Über das Bussystem kann die Entwicklung der realen Steuerung örtlich getrennt und an einer völlig anderen Stelle erfolgen. Das Fast-Ethernet-Bussystem hat hierbei den Vorteil, dass es für eine Datenfernübertragung auch über weite Strecken tauglich ist. Hierdurch kann die Entwicklung der realen und virtuellen Anlage am Einsatzort beim Kunden geschehen, während die zugehörige Steuerungslogik und die Steuerungssoftware weit entfernt beim Anlagenanbieter oder Hersteller entwickelt wird. Die Verbindung erfolgt über eine beliebig geeignete Datenfernübertragung, z. B. über telefonische Stand- oder Wählleitungen oder auch über das Internet.

[0011] Der Entwicklungsfortschritt bei einer realen Anlage geht in Stufen vor sich beginnend mit einer groben Projektierung, die anschließend immer weiter verfeinert und detailliert wird. Dementsprechend werden z. B. zunächst die Anlagenobjekte durch die notwendige Funktionalität bestimmt, wonach anschließend Schritt für Schritt ihre Gestaltung, Anordnung und Kinematik weiter verfeinert und dabei auch mit den anderen Anlagenobjekten abgestimmt wird. Dementsprechend können auch die zugehörigen digitalen Objekt-Modelle in ein oder mehreren Stufen abstrahiert werden. Sobald die notwendige Funktionalität der Anlagenobjekte bekannt ist, kann die Steuerungslogik entwickelt werden. Mit zunehmender Verfeinerung der Funktionalität kann auch die Steuerungslogik verfeinert werden.

[0012] Das beanspruchte Entwicklungssystem bietet darüber hinaus die Möglichkeit einer Visualisierung der Anordnung und der Bewegungen der realen Anlagenobjekte über die virtuelle Anlage, was z. B. mittels Objektmodellen in der Darstellung von 3D-Modellen geschieht. Durch die strukturierten und in Stufen abstrahierbaren Objekt-Modelle können Aussehen, Kinematik und Operationsfolgen voneinander getrennt werden. Damit kann die wirkliche geometrische Gestalt der Objektmodelle mit zunehmender Konkretisierung der realen und der virtuellen Anlage wachsen. Ein weiterer Vorteil besteht in der Möglichkeit der Verteilung der Steuerungslogik auf mehrere Steuerungsprozesse und/oder auf mehrere Rechner. Das reale Steuerungssystem kann aber auch in einem einzigen Rechner ablaufen, wobei hier nicht nur die Anlagensteuerung in Form einer Ablaufsteuerung, sondern auch die Prozesssteuerung und gegebenenfalls auch die Objektsteuerung, z. B. eine Robotersteuerung, integriert sind.

[0013] Das Entwicklungssystem bietet ein gemeinsames

Simulationsmodell für Mechanik, Elektrik, Softwareentwicklung und Inbetriebnahme, welches während der Entstehung der realen Anlage und betriebsbegleitend als Experimentier-Modell eingesetzt werden kann. Die Steuerung kann "online" mit der realen und der virtuellen Anlage entwickelt und getestet werden.

[0014] Am Ende der Entwicklung und nach Fertigstellung der realen Anlage und ihres realen Steuerungssystems kann die virtuelle Anlage weiter genutzt werden und einem Visualisierungszweck für den Betrieb und der Bedienung der realen Anlage zugeführt werden. Alternativ kann auf die virtuelle Anlage aber auch verzichtet werden.

[0015] In den Unteransprüchen sind weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung angegeben.

[0016] Die Erfindung ist den Zeichnungen beispielsweise und schematisch dargestellt. Im Einzelnen zeigen:

[0017] Fig. 1 eine perspektivische Schemadarstellung einer realen Anlage, einer virtuellen Anlage und eines realen Steuerungssystems,

[0018] Fig. 2 eine Schemadarstellung der Verknüpfung der virtuellen Anlage mit dem realen Steuerungssystem und des Aufbaus der Objektmodelle,

[0019] Fig. 3 eine Spanneinrichtung, mit Drehtisch und Spannern in Seitenansicht und

[0020] Fig. 4 eine vergrößerte Seitenansicht eines Spanners mit zwei Achsen.

[0021] Fig. 1 verdeutlicht in einer Schemadarstellung ein Entwicklungssystem (1) für eine reale Anlage (2) für Produktions- oder Bearbeitungsprozesse. Das Entwicklungssystem (1) umfasst hierbei eine virtuelle Anlage (3), welche die reale Anlage (1) simuliert und ein reales Steuerungssystem (4).

[0022] Die reale Anlage (2) kann von beliebiger Art und Größe sein. In der gezeigten Ausführungsform handelt es sich um ein komplett oder zumindest teilweise automatisiertes Zellsystem mit mehreren untereinander verketteten Fertigungszellen zur Herstellung und Bearbeitung von Karosserieteilen von Fahrzeugen. Dieses Zellsystem ist in nicht dargestellter Weise mit anderen Zellsystemen zu einer größeren Fertigungsanlage verknüpft. Innerhalb der realen Anlage (2) sind mehrere Anlagenobjekte (8, 9, 10, 11) vorhanden, die z. B. als Roboter (8), Spanneinrichtungen (9), stationäre Bearbeitungsvorrichtungen zum Schweißen, Kleben und dergleichen, Bördleinrichtungen und usw. ausgebildet sind. Die einzelnen Anlagenobjekte können sich ihrerseits in kleinere Einheiten unterteilen, wobei z. B. die außerdem in Fig. 3 und 4 dargestellte Spanneinrichtung (9) sich in einem Drehtisch (10) und mehrere Spanner (11) untergliedert. Im weiteren kann eine Unterteilung in Bewegungskomponenten und Werkzeugkomponenten erfolgen, was z. B. bei einem Roboter (8) und seinem Schweißwerkzeug oder einem anderen Werkzeug der Fall ist.

[0023] In Abwandlung der gezeigten Ausführungsform kann die reale Anlage (2) auch kleiner oder größer sein. Sie kann z. B. nur aus ein oder wenigen Anlageobjekten (8, 9, 10, 11) bestehen. Sie kann andererseits aber auch wesentlich größer als das gezeigte Zellsystem sein und eine komplette Fertigungsanlage mit Logistik und Verwaltung umfassen.

[0024] Die virtuelle Anlage (3) besteht aus ein oder mehreren Computern (5) mit verschiedenen Eingabe/Ausgabeeinheiten, z. B. Monitoren, Tastaturen, Zeigegeräten und dergleichen. Die virtuelle Anlage (3) simuliert die reale Anlage (2) und ihren Entwicklungsstand. Hierfür enthält die virtuelle Anlage (3) ein oder mehrere digitale Objektmodelle (7), welche die in der realen Anlage (2) vorhandenen Anlagenobjekte (8, 9, 10, 11) simulieren. Dies betrifft sowohl die Geometrie, wie auch die Kinematik der Anlagen-

objekte, als auch deren Steuerungsverhalten hinsichtlich der Operation und des Prozesses.

[0025] Die Objekt-Modelle (7) simulieren auch das Steuerungsverhalten der jeweiligen Anlagenobjekte (8, 9, 10, 11).

Die Objekt-Modelle sind in der Lage Steuersignale zu empfangen, diese in gleicher Weise wie die Anlagenobjekte zu verarbeiten und entsprechende Zustandsmeldungen abzugeben. Die Objekt-Modelle (7) sind Programme oder Softwareteile, die zur Erfüllung der vorgenannten Simulationsfunktionen entsprechend programmiert sind. Außerdem beinhalten die Objekt-Modelle Visualisierungsprogramme und Bildwiedergaben für die repräsentierten Anlagenobjekte (8, 9, 10, 11). Die Objekt-Modelle (7) sind hierzu vorzugsweise als 3D-Modelle ausgeführt. Die Objekt-Modelle (7) sind nach dem Bausteinprinzip im Speicher des Computers (5) in einer geeigneten Bibliothek gespeichert und können zur Konfiguration der virtuellen Anlage (3) ausgewählt werden. Die virtuelle Anlage (3) und ihr Computer (5) befinden sich vorzugsweise in der Nähe der realen Anlage (2), z. B. beim Kunden und Betreiber der realen Anlage (2). Die virtuelle Anlage (3) wird vorzugsweise von dem oder den Entwicklern der realen Anlage (2) bedient.

[0026] Das reale Steuerungssystem (4) besteht aus ein oder mehreren Computern (5) mit entsprechenden Eingabe/Ausgabe-Schnittstellen, wie Bildschirmen, Tastaturen, Zeigegeräten und dergleichen. Auf den Computer (5) läuft eine geeignete Software zur Entwicklung und Programmierung einer Steuerung für die reale Anlage (2) und deren Anlagenobjekte (8, 9, 10, 11). Diese Steuerung kann sich entsprechend Fig. 2 in mehrere Teile untergliedern, nämlich eine Anlagensteuerung, die als Ablaufsteuerung konzipiert ist. Diese kann im Computer (5) als rein softwaremäßige Steuerung programmiert werden. Ferner können ein oder mehrere Prozesssteuerungen entsprechend der in der realen Anlage (2) durchgeführten Prozesse vorhanden sein. Die einzelnen Anlagenobjekte (8, 9, 10, 11) können ihrerseits je nach Komplexität eigene Steuerungen haben. In Fig. 2 ist hierfür beispielsweise eine Robotersteuerung angegeben. Diese verschiedenen Steuerungsteile können in einem integrierten realen Steuerungssystem (4) und auf einem einzigen Computer (5) laufen. Sie können aber auch auf mehrere einzelne Steuerungssysteme und getrennte Computer verteilt sein.

[0027] Das reale Steuerungssystem (4) bzw. der Computer (5) ist mit der virtuellen Anlage (3) und deren Computer (5) über ein Bussystem (6) verbindbar. Über vorzugsweise das gleiche Bussystem kann das reale Steuerungssystem (4) auch mit der realen Anlage (2) und ihren Anlagenobjekten (8, 9, 10, 11) verbunden werden. Über das Bussystem (6) können die Steuersignale an die Anlagenprojekte (8, 9, 10, 11) bzw. deren Objektmodelle (7) übertragen werden, wobei diese im Gegenzug Zustandsmeldungen an das reale Steuerungssystem (4) abgeben. Über das Bussystem (6) kann auch eine weitergehende Kommunikation unter Austausch anderer Daten erfolgen. Die Computer (5) und die Anlagenobjekte (8, 9, 10, 11) haben für das Bussystem (6) geeignete Schnittstellen.

[0028] In der bevorzugten Ausführungsform ist das Bussystem (6) als Fast-Ethernet-Bussystem ausgebildet, welches mit dem TCP/IP-Protokoll arbeitet. Hierfür haben das reale Steuerungssystem (4), die virtuelle Anlage (3) und die Anlagenobjekte (8, 9, 10, 11) geeignete Web-Browser mit jeweils einer eigenen Homepage und gegebenenfalls mehreren zusätzlichen Seiten. Bei den Anlagenobjekten (8, 9, 10, 11) können die Webserver auf Embedded-Chips gespeichert sein. Die Homepages können ein oder mehrere Links zur Anwahl untergeordneter Seiten besitzen. Auf den Homepages werden die Zustände und weitere relevante Daten angezeigt. Bei den Anlagenobjekten können z. B. Handbücher,

Konstruktionsdaten, Bedienungsanleitungen und dergleichen gespeichert sein.

[0029] Das reale Steuerungssystem (4) kann in der Nähe der realen und der virtuellen Anlage (2, 3) angeordnet sein, wobei das Bussystem (6) über eine direkte Kabelverbindung gebildet wird. Anstelle des Fast-Ethernet-Systems können auch beliebige andere geeignete Bussysteme eingesetzt werden, wie sie zur Steuerung von Anlagenobjekten (8, 9, 10, 11) üblich oder geeignet sind. Hierbei sind vorzugsweise entsprechende Adapter an den Schnittstellen der virtuellen Anlage (3) gegebenenfalls auch des realen Steuerungssystems (4) angeordnet.

[0030] Alternativ kann das reale Steuerungssystem (4) örtlich getrennt von der realen Anlage (2) und gegebenenfalls auch von der virtuellen Anlage (3) angeordnet sein. Das reale Steuerungssystem (4) befindet sich z. B. beim Anlagenhersteller- oder Lieferanten oder bei einem Softwareentwickler und kommuniziert mit der vorzugsweise in der Nähe der realen Anlage (2) angeordneten virtuellen Anlage (3) per Datenfernübertragung. Dies kann z. B. über direkte Telefonleitungen (Standleitungen oder Wahlleitung), über das Internet oder über ein internes Netz oder auf beliebige andere geeignete Weise erfolgen.

[0031] Die Fig. 2 verdeutlicht den objektorientierten Ansatz. Die digitalen Objekt-Modelle (7) sind in eine geometrische Komponente, eine kinematische Komponente und eine Operations- und Prozesskomponente (Funktionalität) strukturiert. Der Geometrie-Teil und der Kinematik-Teil simulieren die Erscheinungsform und das mechanische bzw. kinematische Verhalten des zugehörigen Anlagenobjektes (8, 9, 10, 11) und stellen dies auf dem Bildschirm der virtuellen Anlage (3) in Form von 3D-Objekten dar. Die digitalen Objekt-Modelle (7) können in einer entsprechend geeigneten Bibliothek auf einem Speicher des Computers (5) der virtuellen Anlage (3) gespeichert sein und bei Bedarf ausgewählt werden. Die Operations- und Prozesskomponente der digitalen Objekt-Modelle (7) ist auch auf dem realen Steuerungssystem (4) bzw. dessen Computer (5) durch die Ablauflogik gespeichert.

[0032] Zumindest ein Teil der Objekt-Modelle (7) ist in mehreren Stufen abstrahiert. Dies betrifft sowohl die Geometrie und die Kinematik, als auch die Operation und den Prozess.

[0033] Durch diese Abstraktion kann das Objekt-Modell (7) an den jeweiligen Entwicklungs- und Projektionsstand der realen Anlage (2) angepasst werden.

[0034] Das Entwicklungssystem (1) dient zur Entwicklung eines realen Steuerungssystems (4) für eine reale Anlage (2), wobei beide Entwicklungen vorzugsweise parallel und insbesondere weitgehend gleichzeitig ablaufen. Entsprechend des Entwicklungsstands und Fortschritts der realen Anlage (2) wird auch die virtuelle Anlage (3) programmiert bzw. mit Objektmodellen (7) bestückt und definiert. Die Entwicklung der realen Anlage (2) und der virtuellen Anlage (3) laufen vorzugsweise weitgehend zeitgleich ab, wodurch der Softwareentwickler für die Steuerung über das Bussystem (6) den momentanen Entwicklungsstand der virtuellen Anlage (3) abfragen und entsprechend seine Steuerungssoftware programmieren sowie über Kommunikation mit den Objekt-Modellen (7) testen kann.

[0035] Der oder die Mechanikentwickler der realen Anlage (2) bedienen sich der virtuellen Anlage (3) zum Entwickeln, Testen und Optimieren der realen Anlagenobjekte (8, 9, 10, 11) anhand der digitalen Objektmodelle (7). Hierbei wird auch das Zusammenspiel der Anlagenobjekte (8, 9, 10, 11) simuliert. Entsprechend dieses virtuellen Entwicklungsfortschritts oder ggf. auch nach Beendigung der virtuellen Entwicklung werden dann die realen Anlagenobjekte

(8, 9, 10, 11) gebaut und montiert.

[0036] Bei der Entwicklung der realen Anlage (2) werden zunächst die grundsätzlichen Anordnungen und Funktionen der Anlagenobjekte (8, 9, 10, 11) festgelegt. Entsprechend dieser Grob-Projektierung werden in der virtuellen Anlage (3) die zugehörigen Objekt-Modelle (7) aus der Bibliothek ausgewählt und im Anlagenbild positioniert. In diesem Stadium der Grob-Projektierung oder -Entwicklung haben die Objekt-Modelle (7) den größten Abstraktionsgrad.

[0037] Geometrisch erscheinen sie z. B. als einfache Symbole in Form von Kreisen, Rechtecken oder dergleichen auf dem Anlagenbild der virtuellen Anlage (3). Fig. 2 zeigt dieses Erscheinungsbild. In dieser groben Abstraktionsstufe haben die Objekt-Modelle (7) nur beschränkte Ansteuerungsmöglichkeiten, z. B. Ein/Aus oder dergleichen. Eine Kinematik ist bei dieser Grob-Abstraktion vorzugsweise noch nicht angezeigt.

[0038] Nach dieser ersten Grob-Projektierung wird die reale Anlage (2) stufenweise weiter verfeinert und konkretisiert oder detailliert. In der Phase der Grob-Projektierung ist die Spanneinrichtung (9) zunächst als Black-Box definiert. In den folgenden Verfeinerungsstufen wird sie z. B. konkretisiert in einen Drehtisch (10) und ein oder mehrere Spanner (11). Dementsprechend untergliedern und gegebenenfalls zerteilen sich auch die zugehörigen Objekt-Modelle (7). Mit zunehmender Konkretisierung und Verfeinerung werden weitere mechanische, kinematische und operative Eigenschaften der Objekt-Modelle aktiviert und auch visualisiert. Wenn z. B. die Geometrie verfeinert wird, wird über die logische Verknüpfung auch die Kinematik angesprochen und sichtbar gemacht. Bei der Kinematik können über die Verfeinerung die Art der Bewegung und die Bewegungsparameter angesprochen und aktiviert werden. Aus der Kinematik heraus ergibt sich für die Operation und Prozesskomponente eine logische Verknüpfung zur Operation. Dies kann im gezeigten Fall der Spanner (11) der Vorgang Öffnen und Schließen des Spannhebels (13) sein.

[0039] Wie Fig. 4 verdeutlicht, hat jeder Spanner (11) ein Gestell (12), mit dem er auf dem Drehtisch (10) montiert ist. Der Spannhebel (13) ist am Gestell (12) gelagert und hat in der gezeigten Ausführungsform zwei operative Achsen, nämlich eine Schwenkachse (14) zum Anklappen und eine Linearachse (15) zur Auf- und Abwärtsbewegung. Das Werkstück (16), dass hier z. B. als Tank ausgebildet ist, liegt mit dem Verbindungsflansch seiner beiden Schalenhälften auf einer ortsfesten Stütze des Spanners (11) auf. In Betriebsstellung drückt der eingeschwenkte und abgesenkte Spannhebel (13) die beiden Schalenhälften mit ihren Flanschen in die Fluchten der Horizontalposition und presst sie in einer Abwärtsbewegung gemeinsam gegen die Stütze.

[0040] Bei dieser Ausführungsform werden die zwei operativen Achsen im Geometrie-Teil mit zunehmender Verfeinerung und abnehmender Abstraktion dargestellt, wobei auch ihre Kinematik sichtbar wird. Mit Verfeinerung der Kinematik wird zudem nicht nur die Bewegung des Spannhebels (13), sondern auch deren Parameter, z. B. die Schließgeschwindigkeit, der Anpressdruck und dergleichen aktiviert, angesprochen und sichtbar gemacht.

[0041] Dementsprechend lassen sich im realen Steuerungssystem (4) und bei den Operations- und Prozesskomponenten der Objekt-Modelle die Steuerungsmöglichkeiten verfeinern. In der Grob-Projektierung und der vollen Abstraktion hatte die Spanneinrichtung (9) zunächst nur die steuerbare Funktion Öffnen oder Spannen. Mit der zunehmenden Verfeinerung und Weiterentwicklung können nun Sequenzen der Operation in der Steuerung programmiert werden. Dies bedeutet z. B., in welcher Reihenfolge die verschiedenen Spanner (11) in Funktion treten und das Werk-

stück (16) spannen. Hierbei fließen auch die Betätigungsgeschwindigkeiten und weitere Detailfunktionen der Spanner (11) ein. Dies hat vom Zeitablauf Auswirkungen auf den Gesamtprozess und ermöglicht den vorher grob vorprogrammierten Ablauf und die einzelnen Prozesse detaillierter zu steuern und die Steuerung entsprechend zu entwickeln und zu programmieren. Im Endeffekt simuliert die virtuelle Anlage (3) die realen Anlagenobjekte (8, 9, 10, 11) und ihr Zusammenwirken innerhalb der realen Anlage (2) in allen Details, so dass im realen Steuerungssystem (4) die verschiedenen Steuerungsprogramme in allen Details für den tatsächlichen Betrieb der realen Anlage (2) programmiert werden können.

[0042] Während der Entwicklung des realen Steuerungssystems (4) und der Steuerungssoftware können anhand der virtuellen Anlage (3) die ersten Teile der Steuerungssoftware getestet werden. Der Steuerungsentwickler kann dabei am Bildschirm die Funktion überprüfen und gegebenenfalls sein Steuerungsprogramm optimieren. Hierbei können sowohl an der virtuellen Anlage (3), wie auch am realen Steuerungssystem (4) die Darstellungen und der Abstraktionsgrad der Objekt-Modelle (7) beliebig gewählt werden. Je größer die Abstraktion ist, desto kleiner ist der Bedarf an Rechenleistung.

[0043] Im Zuge der Entwicklung kann mit den realen Anlagenobjekten (8, 9, 10, 11) und mit den entsprechenden Objekt-Modellen (7) auch experimentiert werden. Bei Anordnung der virtuellen Anlage (3) in der Nähe der realen Anlage (2) können die dortigen Anlagenentwickler die virtuelle Anlage (3) benutzen, um die Anordnung, Verteilung und die Störgrenzen der vorgesehenen Anlagenobjekte (8, 9, 10, 11) vorab in der Simulation vorzunehmen, zu überprüfen und zu optimieren. Die realen Anlagenkomponenten (8, 9, 10, 11) werden erst nach diesen virtuellen Vorversuchen und Tests installiert.

[0044] Bei der Installation und gegebenenfalls auch der Inbetriebnahme der realen Anlage (2) können sich in den einzelnen Prozessen und den Anlagenobjekten (8, 9, 10, 11) unvorhergesehene Detailprobleme ergeben. Dies können z. B. fertigungsbedingte Verzögerungen des Werkstücks (16) in der Spanneinrichtung (9) sein. Wenn die Anlagenentwickler dies vor Ort feststellen, können sie Abhilfe durch eine Veränderung der Zahl oder Anordnung der einzelnen Spanner (11) oder auch durch eine geänderte Schließfolge der Spanner (11) schaffen. Dementsprechend werden dann auch gleich die Objekt-Modelle (7) in der virtuellen Anlage (3) sowohl im Bereich der operativen Komponente, wie auch im Bereich der Operations- und Prozesskomponente geändert. Dies wird auch über das Bussystem (6) an das reale Steuerungssystem (4) gemeldet, wo der Steuerungsentwickler entsprechende Änderungen an seiner Steuerungssoftware vornimmt bzw. hierzu aufgefordert wird.

[0045] Am Ende der Entwicklung wird das reale Steuerungssystem (4) über das Bussystem (6) mit der realen Anlage (2) und deren Anlagenkomponenten (8, 9, 10, 11) verbunden. Nach einem Testlauf steht dann die Steuerung für die reale Anlage (2) voll funktionsfähig zur Verfügung. Das Bussystem (6) kann hierbei von der virtuellen Anlage (3) auf die reale Anlage (2) umgeschaltet werden. Alternativ ist auch eine parallele Anschaltung über doppelte Schnittstellen möglich.

[0046] Nach der Inbetriebnahme kann die virtuelle Anlage (3) zum Experimentieren, z. B. bei Umbauten, bestehen bleiben und über das Bussystem (6) einerseits mit der realen Steuerung (4) und andererseits auch mit der realen Anlage (2) verbunden sein. Über die virtuelle Anlage (3) können dann auch die real ablaufenden Prozesse am Bildschirm visualisiert. Dies kann zu Überwachungs- und auch zu Be-

dienzwecken benutzt werden. Alternativ kann die virtuelle Anlage (3) allerdings auch abgeschaltet und demontiert werden.

[0047] Abwandlungen der gezeigten Ausführungsform sind in verschiedener Weise möglich. Bei einer Steuerungsentwicklung vor Ort kann die virtuelle Anlage (3) in das reale Steuerungssystem (4) und in einen gemeinsamen Computer (5) integriert sein. Das Bussystem (6) wird dann rechnerintern auf Softwarebasis und in Benutzung des vorgesehenen Busprotokolls, vorzugsweise TCP/IP-Protokoll, realisiert. Weitere Abwandlungen sind hinsichtlich der Ausgestaltung der einzelnen Anlagenobjekte (8, 9, 10, 11) und der softwaremäßigen Realisierung der Objekt-Modelle und deren Komponentenunterteilung möglich. Variabel sind zudem die Visualisierungs- und Steuerungsmöglichkeiten.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Entwicklungssystem
- 2 reale Anlage
- 3 virtuelle Anlage
- 4 reales Steuerungssystem
- 5 Computer
- 6 Bus-System
- 7 Objekt-Modell
- 8 Anlagenobjekt, Roboter
- 9 Anlagenobjekt, Spanneinrichtung
- 10 Anlagenobjekt, Drehtisch
- 11 Anlagenobjekt, Spanner
- 12 Gestell
- 13 Spannhebel
- 14 Schwenkachse
- 15 Linearachse
- 16 Werkstück

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Entwickeln eines realen Steuerungssystems (4) für eine reale Anlage (2) mit ein oder mehreren steuerbaren Anlagenobjekten (8, 9, 10, 11) für Produktions- oder Bearbeitungsprozesse, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Steuerungssystem (4) mittels einer rechnergestützten virtuellen Anlage (3) entwickelt wird, die mit dem Steuerungssystem (4) über ein Bus-System (6) verbunden ist, wobei die virtuelle Anlage (3) die reale Anlage (2) mit ihren Anlagenobjekten (8, 9, 10, 11) und deren Steuerverhalten mit entsprechenden Objekt-Modellen (7) simuliert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die reale Anlage (2) und das Steuerungssystem (4) parallel entwickelt werden, wobei die virtuelle Anlage (3) den Entwicklungsstand der realen Anlage (2) repräsentiert und entsprechend des Entwicklungsfortschritts verändert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die reale Anlage (2) mit dem Steuerungssystem (4) über das gleiche Bus-System (6), vorzugsweise einen Fast-Ethernet-Bus mit TCP/IP-Protokoll, wie die virtuelle Anlage (3) verbunden wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Objekt-Modelle (7) eine geometrische und eine kinematische Komponente sowie eine Operations- und Prozesskomponente aufweisen und in der virtuellen Anlage (3) gespeichert werden, wobei die Operations- und Prozesskomponente auch im Steuerungssystem (4) gespeichert wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teil

der Objekt-Modelle (7) in mehrere Stufen abstrahiert wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstraktionsstufen entsprechend des Entwicklungsfortschritts der realen Anlage (2) aktiviert werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Objekt-Modelle (7) nach dem Bausteinprinzip in einer Bibliothek auswählbar gespeichert werden.

8. Entwicklungssystem für ein reales Steuerungssystem (4), das zur Steuerung einer realen Anlage (2) mit ein oder mehreren steuerbaren Anlagenobjekten (8, 9, 10, 11) für Produktions- oder Bearbeitungsprozesse vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuerungssystem (4) mit einer rechnergestützten virtuellen Anlage (3) über ein Bus-System (6) verbunden ist, wobei die virtuelle Anlage (3) ein oder mehrere Objekt-Modelle (7) aufweist, welche die reale Anlage (2) mit ihren Anlagenobjekten (8, 9, 10, 11) und deren Steuerverhalten simulieren.

9. Entwicklungssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die reale Anlage (2) mit dem Steuerungssystem (4) über das gleiche Bus-system (6), vorzugsweise einen Fast Ethernet-Bus mit TCP/IP-Protokoll, wie die virtuelle Anlage (3) verbindbar ist.

10. Entwicklungssystem nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Objekt-Modelle (7) eine geometrische und eine kinematische Komponente sowie eine Operations- und Prozesskomponente aufweisen, die logisch miteinander verknüpft sind.

11. Entwicklungssystem nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Objekt-Modelle (7) mit allen Komponenten in der virtuellen Anlage (3) gespeichert sind, wobei die Operations- und Prozesskomponente auch im Steuerungssystem (4) gespeichert ist.

12. Entwicklungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teil der Objekt-Modelle (7) in mehreren Stufen abstrahierbar ist.

13. Entwicklungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstraktionsstufen entsprechend des Entwicklungsfortschritts der realen Anlage (2) aktivierbar sind.

14. Entwicklungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstraktionsstufen untereinander logisch verknüpft sind.

15. Entwicklungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Objekt-Modelle (7) in einer Bibliothek auswählbar gespeichert sind.

16. Entwicklungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Objekt-Modelle (7) als 3D-Modelle ausgebildet sind.

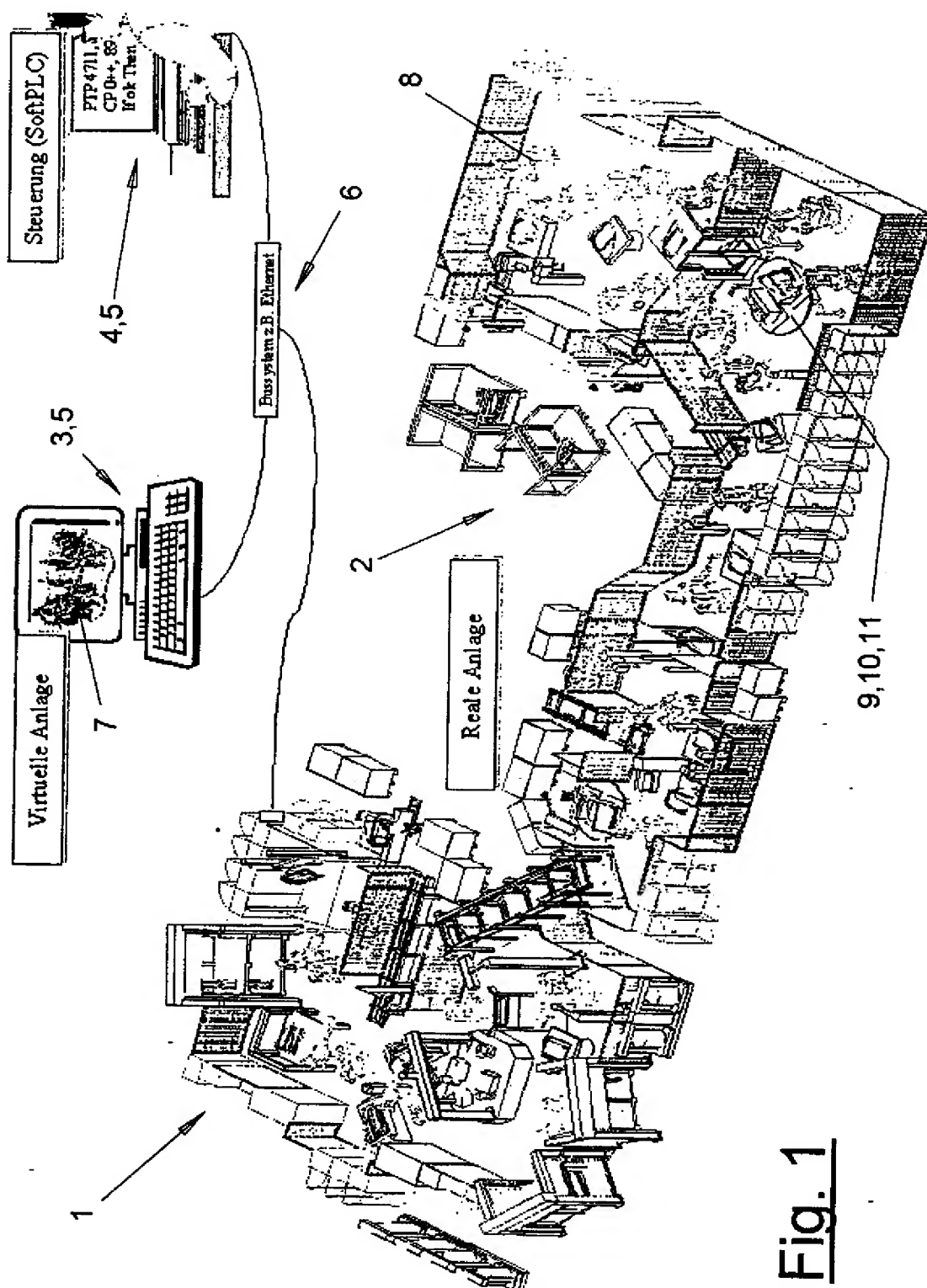
---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -







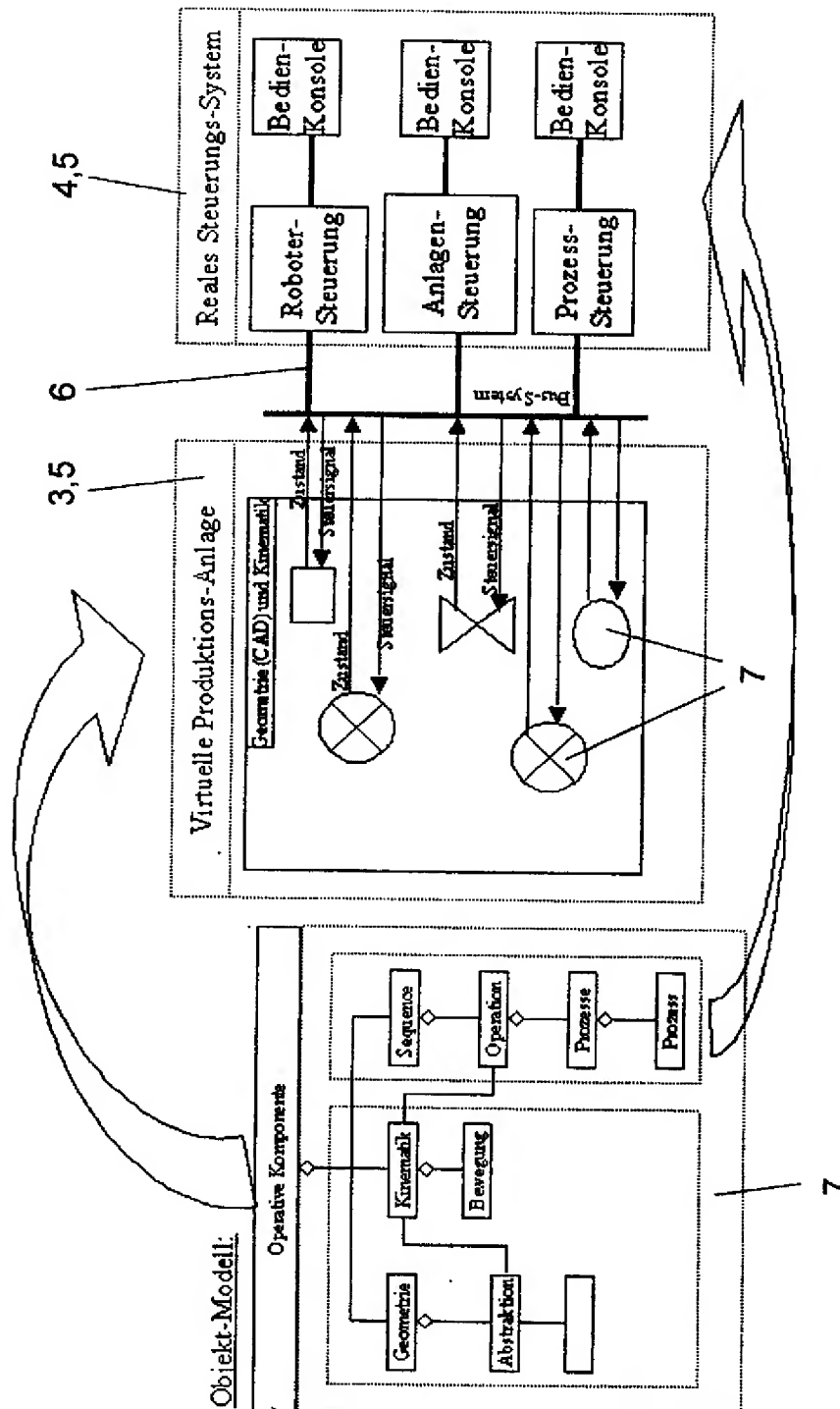


Fig. 2

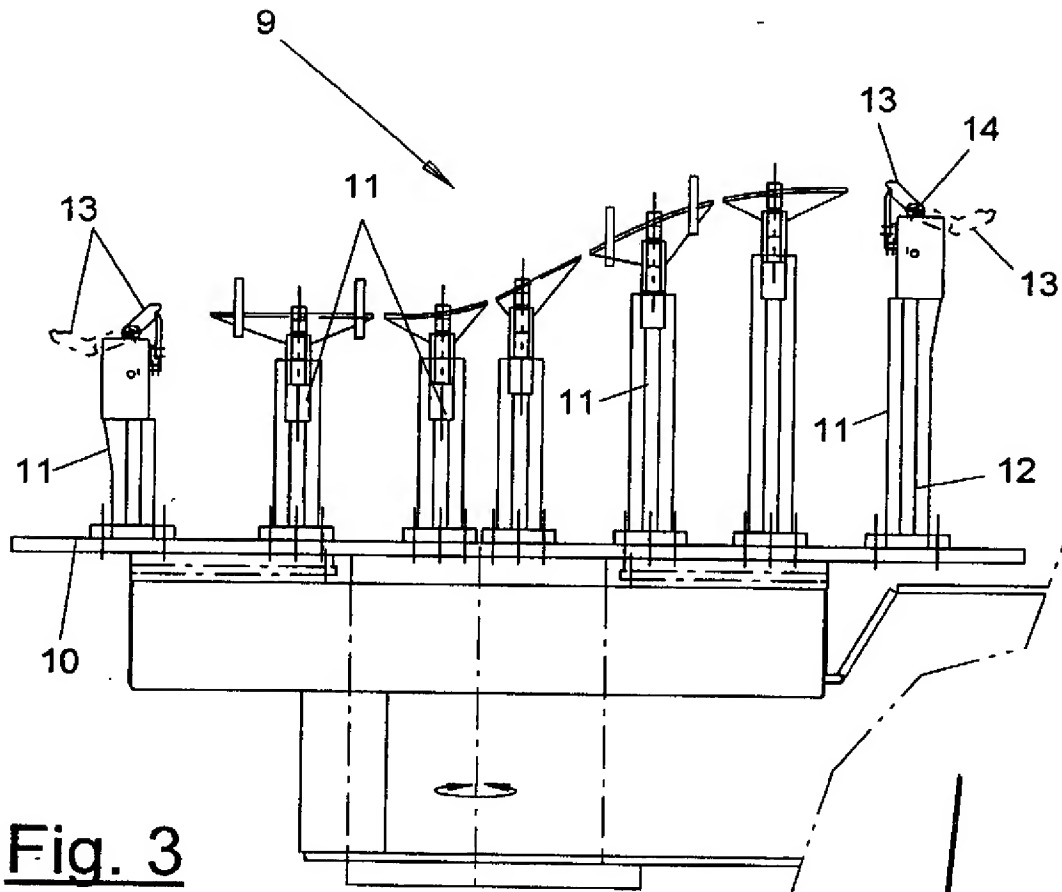


Fig. 4

